辽宁北票低品位磷矿选矿实验研究

程亮[1]，马志军[1]，邵坤[2]，翁兴媛[1]，高静[1]

（1. 辽宁工程技术大学矿业学院，辽宁 阜新 123000；2. 辽宁地质矿产研究院，辽宁 沈阳 110032）

摘要：对辽宁北票低品位磷灰石型磷矿进行了选矿实验研究。原矿经粗磨后，采用 SA-6A 作为捕收剂，碳酸钠和水玻璃作为调整剂，开路试验获得的磷精矿 P_2O_5 品位为 34.04%，P_2O_5 回收率为 57.46%。闭路流程试验获得了精矿 P_2O_5 品位为 34.05%，P_2O_5 回收率为 93.66% 的浮选指标。选磷尾矿经再磨后，在磁选强度为 1.2N/A·m 的条件下，开路流程试验获得的铁精矿 TFe 品位为 65.59%，TFe 回收率为 43.33% 的磁选指标。

关键词：磷灰石；磷矿；浮选；磁选；

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.01.016

中图分类号：TD97 **文献标志码：**A **文章编号：**1000-6532（2021）01-0099-06

我国磷矿资源丰富，大部分以磷块岩型胶磷矿居多，主要分布于川、黔、滇等地，以浮选选矿工艺为主[1-5]。部分磷灰石型磷矿伴生有磁铁矿、云母、长石等矿物，主要分布于冀、辽、陕等地，以磁 - 重 - 浮联合选矿工艺为主[6-10]。本文研究的磷矿位于辽宁省，平均品位为 1.94% 左右，为了充分利用国内现有磷灰石型磷矿资源，解决品位低、伴生组分复杂等问题，本文就该矿的磷灰石和磁铁矿的浮 - 磁选联合工艺进行试验研究，为该类磷矿的工业综合开发提供技术支撑。

1 矿石性质

原矿化学多元素分析结果见表 1。

表 1 原矿多元素分析结果 /%

Table 1 Multi-element analysis results of the raw ore

P_2O_5	FeO	TFe	S	SiO_2	CaO	MgO	TiO_2	Al_2O_3	Au*
1.94	7.66	10.10	0.24	47.90	7.98	4.98	2.02	14.51	0.21

* 单位为 g/t。

由表 1 可知，该磷矿品位较低，P_2O_5 品位仅为 1.94%，而 TFe 品位为 10.20%，说明在选磷过程中需要考虑铁的回收利用。

原矿 XRD 分析及显微镜下观察发现，矿石中主要金属矿物为磁铁矿，主要非金属矿物为磷灰石、黑云母、角闪石、石英，还有少量的斜长石、条纹长石和方解石等。为了提高矿石综合利用价值，本文探讨磷灰石和磁性铁的综合回收。

原矿全筛析分析结果见表 2。

收稿日期：2020-02-17；**改回日期：**2020-03-27

作者简介：程亮（1995-），男，硕士研究生，主要从事选矿工艺方面的研究。

通讯作者：马志军（1969-），教授，邮箱：zhijunma0930@126.com.

万方数据

表 2　原矿全筛析分析结果

Table 2　Full sieve analysis results of the raw ore

粒级 /mm	产率 /%		P_2O_5 品位	P_2O_5 分布率
	部分	累积	/%	/%
+1.0	16.18	16.18	1.62	13.48
-1.0+0.5	27.96	44.14	1.48	21.29
-0.5+0.15	7.20	51.34	1.56	5.78
-0.15+0.104	11.82	63.16	2.78	16.90
-0.104+0.074	13.27	76.43	2.65	18.09
-0.074+0.043	12.25	88.68	2.20	13.86
-0.043	11.32	100.00	1.82	10.60
合计	100.00		1.94	100.00

由表 2 可知，+0.5 mm 级别产率为 44.14%，磷品位为 1.53%，分布率为 34.77%，主要矿物为黑云母、角闪石、石英和长石等。磷灰石的嵌布粒度介于 0.1 ~ 0.3 mm 之间，以半自形 - 粒状结构为主，与毗邻矿物多平直接触，易于单体解离。磁铁矿的嵌布粒度介于 0.05 ~ 0.2 mm 之间，在矿石中均质性定向分布，嵌布粒度相对磷灰石较细。因此在浮选选磷和磁选选铁前均应进行磨矿作业。

2　结果与讨论

2.1　粗选磨矿细度实验

在碳酸钠用量为 2000 g/t，水玻璃用量为 1000 g/t，SY-6A 用量为 400 g/t 条件下，进行粗选磨矿细度实验，实验流程见图 1，实验结果见图 2。

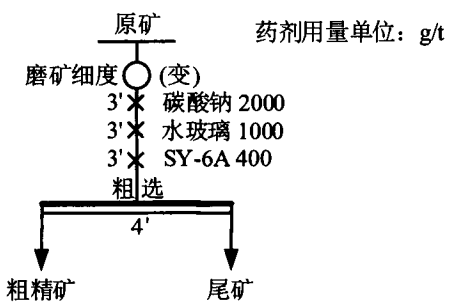

图 1　粗选磨矿细度实验流程

Fig .1　Flowsheet of roughing grinding fineness test

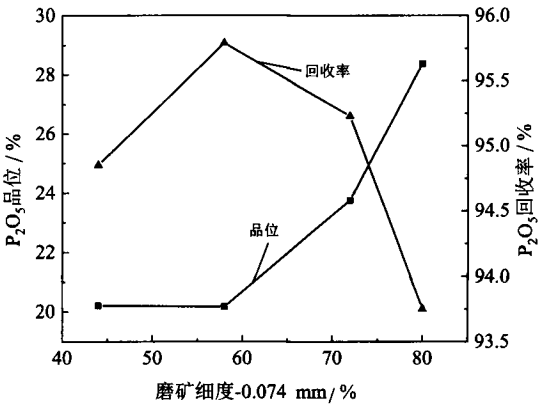

图 2　粗选磨矿细度实验结果

Fig .2　Results of roughing grinding fineness test

由图 2 可知，随着磨矿细度增加，精矿品位先保持平稳后逐渐升高，而回收率在磨矿细度 -0.074 mm 58% 时较高，由于伴生矿物嵌布粒度一般介于 0.05 ~ 0.3 mm 之间，为了尽可能回收磷灰石，因此确定磨矿细度为 -0.074 mm58%。

2.2　捕收剂种类实验

在磨矿细度 -0.074 mm 58%，碳酸钠用量为 2000 g/t，水玻璃用量为 1000 g/t，捕收剂分别选用油酸钠，阴离子捕收剂 KS，改性油酸捕收剂，SY-6A 用量为 400 g/t 条件下，进行捕收剂种类实验，实验结果见图 3。

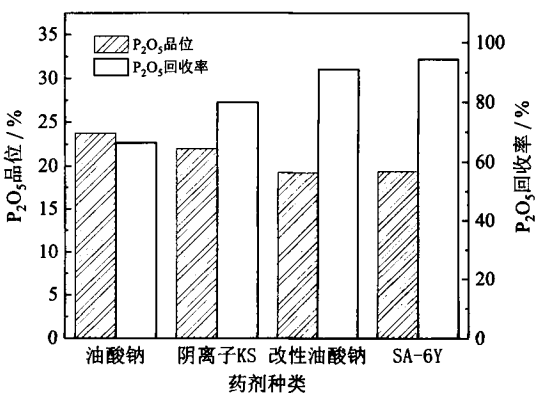

图 3　捕收剂种类实验结果

Fig .3　Results of collector type test

由图 3 可知，在碱性条件下，四种捕收剂中油酸钠选择性较好，但捕收性较差，P_2O_5 回收率较低。SA-6Y 选择性较差，精矿品位较低，而捕收性较强，P_2O_5 回收率较高。为了尽可能回收磷

万方数据

灰石，因此选择 SA-6Y 作为捕收剂。

2.3 SY-6A 用量实验

在磨矿细度 -0.074 mm 58%，碳酸钠用量为 2000 g/t，水玻璃用量为 1000 g/t，进行捕收剂 SY-6A 用量实验，结果见图 4。

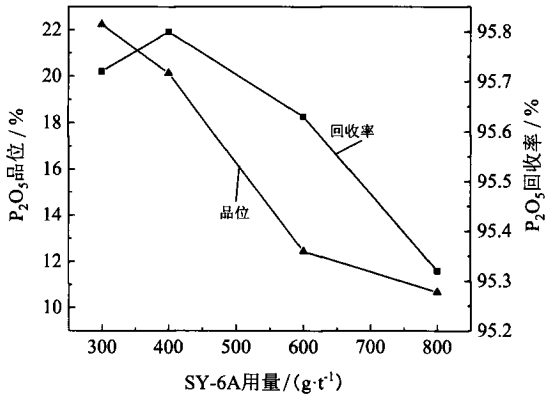

图 4　SY-6A 用量实验结果

Fig .4　Results of SY-6A dosage test

由图 4 可知，随着捕收剂 SY-6A 用量的增加，精矿品位逐渐降低，回收率在 SY-6A 用量为 400 g/t 时最高，因此粗选捕收剂 SY-6A 用量确定为 400 g/t。

2.4 碳酸钠用量实验

在磨矿细度 -0.074 mm 58%，水玻璃用量为 1000 g/t，捕收剂 SY-6A 用量为 400 g/t，进行碳酸钠用量实验，结果见图 5。

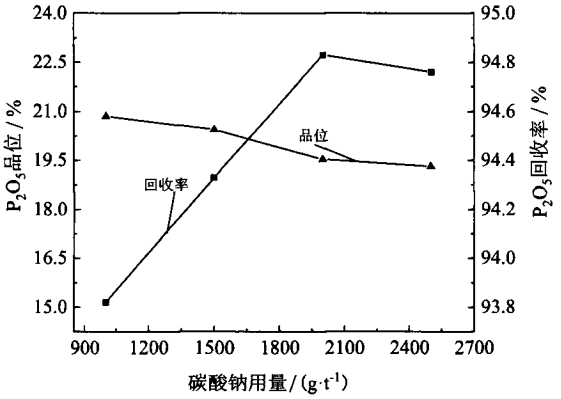

图 5　碳酸钠用量实验结果

Fig .5　Results of regulator dosage test

由图 5 可知，随着碳酸钠用量的增加，精矿品位降低幅度较小，回收率在碳酸钠用量为 2000 g/t 时较高，因此 pH 值调整剂碳酸钠用量确定为 2000 g/t。

2.5 磷开路实验

在条件实验基础上，按图 6 工艺流程进行了磷开路实验，结果见表 3。

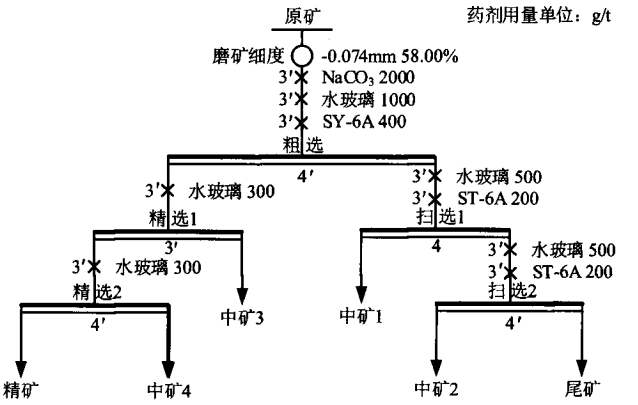

图 6　磷开路实验流程

Fig .6　Flowsheet of phosphorus open-circuit test

表 3　磷开路实验结果

Table 3　Results of phosphorus open-circuit test

产品名称	产率 /%	P_2O_5 品位 /%	P_2O_5 回收率 /%
精矿	3.28	34.04	57.46
中矿 1	0.96	1.37	0.68
中矿 2	0.62	1.12	0.36
中矿 3	4.20	4.92	10.64
中矿 4	1.74	30.88	27.65
尾矿	89.20	0.07	3.21
原矿	100.00	1.94	100.00

磷开路实验可获得产率为 3.28%、P_2O_5 品位为 34.04%、回收率为 57.46% 的磷精矿。为了提高磷回收率，同时获得产率为 1.74%、P_2O_5 品位为 30.88%、回收率为 27.65% 的中矿 4，磷回收率合计为 85.11%。

2.6 磷闭路实验

根据开路实验结果，按图 7 进行了磷闭路实验，结果见表 4。磷闭路实验采用一粗二扫二精闭路流程，可获得磷精矿品位为 34.05%，回收率为 93.66% 的良好指标。

2.7 磁选强度实验

万方数据

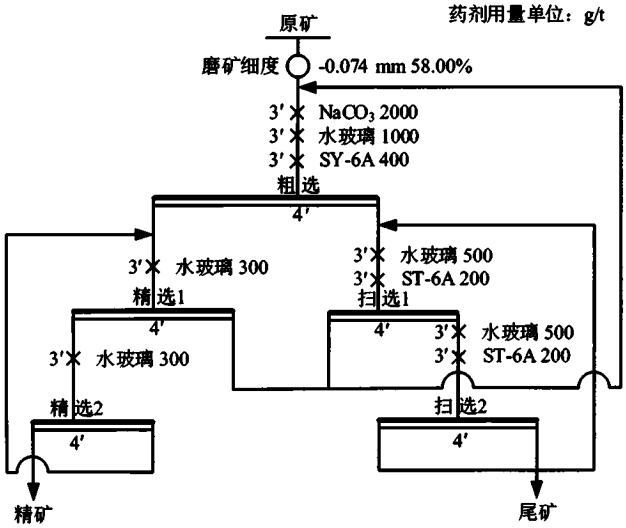

图 7　磷闭路实验流程

Fig.7 Flowsheet of phosphorus closed-circuit test

表 4　磷闭路实验结果

Table 4 Results of phosphorus closed-circuit test

产品名称	产率 /%	P_2O_5 品位 /%	P_2O_5 回收率 /%
精矿	5.34	34.05	93.66
尾矿	94.66	0.13	6.34
原矿	100.00	1.94	100.00

在磨矿细度 -0.074 mm 58%，进行选铁磁场强度实验，实验流程见图 8，实验结果见图 9。

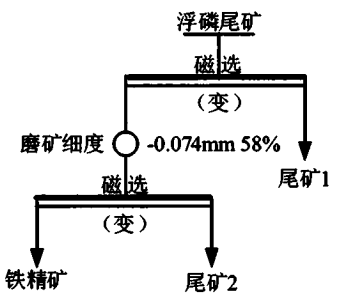

图 8　磁选强度实验流程

Fig .8　Flowsheet of magnetic separation strength test

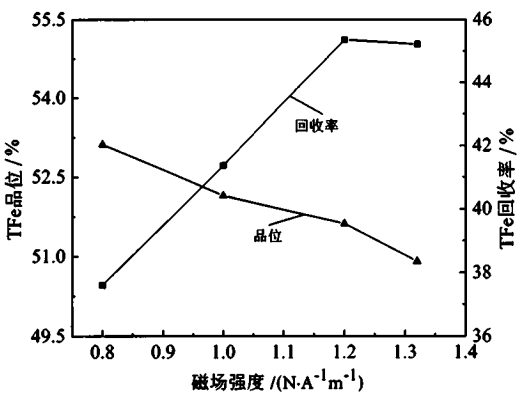

图 9　磁选强度实验结果

Fig .9　Results of magnetic separation strength test

由图 9 可知，随着磁场强度的增加，铁精矿品位逐渐降低，回收率在磁场强度为 1.2 N/A·m 时最高，因此磁场强度确定为 1.2 N/A·m。

2.8　铁粗精矿磨矿细度实验

在磁场强度为 1.2 N/A·m 条件下，进行铁粗精矿磨矿细度实验，实验流程见图 8，实验结果见图 10。

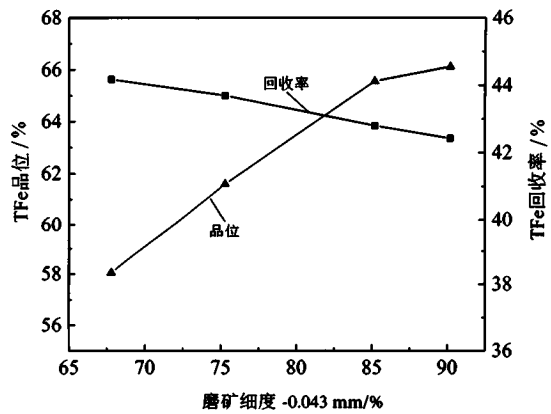

图 10　铁粗精矿磨矿细度实验结果

Fig .10　Results of grinding fineness test of iron coarse concentrate

由图 10 可知，随着磨矿细度增加，铁精矿品位逐渐提高，回收率逐渐降低。综合考虑铁精矿品位和回收率，确定磨矿细度 -0.043 mm 85.2%，此时铁精矿品位为 65.56%，回收率为 42.80%。

2.9　铁全开路实验

在条件实验基础上，TFe 品位为 10.56% 的磷尾矿进行选铁全开路实验，结果见表 5。

表 5　铁全开路实验结果

Table 5　Results of iron full-open-circuit test

产品名称	产率 /%	TFe 品位 /%	TFe 回收率 /%
磷精矿	5.34	1.88	0.99
铁精矿	6.67	65.59	43.33
尾矿 1	85.60	6.25	52.99
尾矿 2	2.39	11.35	2.69
原矿	100.00	10.10	100.00

2.10　产品质量分析

磷精矿和铁精矿质量分析结果见表 6。

万方数据

表 6　产品质量分析结果 /%
Table 6　Results of quality analysis of products

磷精矿	TFe	P_2O_5	TiO_2	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
	1.88	34.05	0.06	0.80	55.77	0.52	0.41
铁精矿	TFe	P_2O_5	S	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
	65.56	0.09	0.13	5.08	0.91	0.12	1.39

3 结 语

（1）辽宁某磷矿属低品位磷灰石型磷矿，主要矿物是黑云母、角闪石、石英、磷灰石、磁铁矿和黄铁矿，还有少量的斜长石、条纹长石和方解石等。

（2）原矿中黑云母、角闪石、石英和长石等矿物嵌布粒度相对较粗，磷灰石和磁铁矿嵌布粒度相对较细，磷灰石嵌布粒度介于 0.1 ~ 0.3 mm 之间，以半自形 - 粒状结构为主，与毗邻矿物多平直接触，易于单体解离，原矿经粗磨后进行磷的浮选。磁铁矿嵌布粒度介于 0.05 ~ 0.2 mm 之间，相对磷灰石更细，因此铁粗精矿再磨后进行磁选。

（3）原矿适宜的粗磨粒度 -0.074 mm 58%，碳酸钠用量为 2000 g/t，水玻璃用量为 1000 g/t，捕收剂 SA-6A 用量为 400 g/t。开路流程实验获得的磷精矿 P_2O_5 品位为 34.04%，P_2O_5 回收率为 57.46%。闭路流程实验获得了磷精矿 P_2O_5 品位为 34.05%，P_2O_5 回收率为 93.66% 的浮选指标。

（4）选磷尾矿适宜的再磨粒度为 -0.043 mm 粒级 85.2%，磁选强度为 1.2 T。开路流程实验获得的铁精矿 TFe 品位为 65.59%，TFe 回收率为 43.33% 的磁选指标。

参考文献：

[1] 鄢正华 . 我国磷矿资源开发利用综述 [J]. 矿冶 ,2011,20 (3): 21-25.

YAN Z H. Review of the development and utilization of phosphate mineral resources in China [J]. Mining & Metallurgy,2011,20 (3):21-25.

[2] 余永富 , 葛英勇 , 潘昌林 . 磷矿选矿进展及存在的问题 [J]. 矿冶工程 ,2008 (1):29-33.

YU Y F, GE Y Y, PAN C L. Progress and existing problems of phosphate ore dressing [J]. Mining and Metallurgy Engineering,2008 (1):29-33.

[3] 甄逢生 , 沙惠雨 , 刘长淼 , 等 . 中国磷矿石选矿工艺研究现状 [J]. 金属矿山 . 2018 (2),7-13.

ZHEN F S, SHA H Y, LIU C M, et al. Research status of phosphate ore dressing process in China [J]. Metal Mines. 2018 (2),7-13.

[4] 李成秀 , 文书明 . 我国磷矿选矿现状及其发展 [J]. 矿产综合利用 ,2010 (2):22-25.

LI C X, WEN S M. Status and development of phosphate ore dressing in China [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources,2010 (2):22-25.

[5] 郭文达 , 朱一民 , 韩跃新 , 等 . 柏泉磷铁矿石可选性研究 [J]. 中国矿业 ,2018,27 (10),126-130.

GUO W D, ZHU Y M, HAN Y X, et al. Study on the flota of Baiquan phosphorus iron ore [J]. China Mining, 2008,27 (10),126-130.

[6] 刘长淼 , 卫敏 , 吴东印 , 等 . 青海低品位磷灰石型磷矿浮选试验研究 [J]. 矿业工程 ,2014,34 (3),29-32.

LIU C M, WEI M, WU D Y, et al. Experimental study on flotation of low-grade apatite type phosphate ore in qinghai [J]. Mining Engineering,2014,34 (3),29-32.

[7] 刘长淼 , 吕子虎 , 马驰 , 等 . 甘肃某低品位磷矿选矿试验研究 [J]. 化工矿物与加工 ,2014,43 (3),1-4+8.

LIU C M, LV Z H, MA C, et al. Experimental study on a low-grade phosphate ore dressing in Gansu province [J]. Chemical Minerals and Processing,2014,43 (3),1-4+8.

[8] 肖建华 , 郁钟铭 . 低品位磷矿的选矿方法 [J]. 矿业研究与开发 ,2009,29 (12):41-42.

XIAO J H, YU Z M. Beneficiation method for a low-grade phosphate ore[J] Mineral Research and Development,2009,29 (12):41-42.

[9] 张旭 , 王静雅 , 戴慧新 , 等 . 云南某胶磷矿浮选试验研究 [J]. 化学矿物与加工 ,2011 (4):5-8.

ZHANG X, WANG J Y, DAI H X, et al. Experimental study on flotation of a colloidal phosphate ore in Yunnan [J] Chemical Minerals and Processing,2011 (4):5-8.

[10] 杜令攀 , 卢昌 , 钟晋 , 等 . 浮选工艺和药剂在磷矿选矿中的应用研究 [J]. 化工矿物与加工 , 2016 (3) :55-58.

DU L P, LU C, ZHONG J, et al. Application of flotation technology and reagents in phosphate ore dressing [J]. Chemical Minerals and Processing, 2016 (3) :55-58.

（下转 123 页）

万方数据

Effect of Different Contents of SiO_2 on the Quality of Pellets of Hanstell

Sun Jianning[1], Liu Xiaojie[1], Yan Zhaozhao[1], Lu Jianguang[2], Lv Qing[1]
(1.School of Metallurgy and Energy, North China University of Technology, Key Laboratory of Modern Metallurgical Technology, North China University of Technology, Tangshan, Hebei, China; 2.HBIS Group Hansteel Company, Handan, Hebei, China)

Abstract: Through the four kinds of mineral powders used in the existing production of Hansteel, the ore concentrates with different SiO_2 content are obtained, and a series of test schemes and testing methods are used to find out the optimal compressive strength and metallurgy properties of the pellets of Hansteel. Meanwhile, the test explored the influence of different SiO_2 content on the compressive strength and metallurgical properties of the pellets of Hansteel. The test results show that the compressive strength of pellets produced by SiO_2 content is 3%, which is the strongest. The compressive strength of pellets decreases with the increase of SiO_2 content, but the pellets obtained by the test are above 2000 N. When the content of SiO_2 is 3%, the degree of reduction is the highest, reaching 83%. With the increase of SiO_2 content, the reduction degree of pellets decreases. When the content of SiO_2 is 3%, the low tempera-ture Break-down rate is the largest. With the increase of SiO_2 content, the low tempera-ture Break-down rate of pellets tends to decrease, but the decline is not too large.When the SiO_2 content is 3%, the softening temperature is the highest, the droplet temperature range is the narrowest, and the droplets are the best. The pellets increase with the increase of SiO_2 content. The softening temperature of the ore is lowered, the temperature range of the droplet is widened, and the droplet performance is deteriorated.

Keywords: Pellet; Compressive strength; Metallurgical properties; FactSage simulation

（上接 103 页）

Experimental Study on Beneficiation of a Low-grade Phosphate Ore in Beipiao, Liaoning Province

Cheng Liang[1], Ma Zhijun[1], Shao Kun[2], Weng Xingyuan[1], Gao Jing[1]
(1.College of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning, China; 2.Liaoning Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang, Liaoning, China)

Abstract: The experimental study on beneficiation of a low-grade apatite phosphate ore from Beipiao area in Liaoning was carried out. After rough grinding process, with SA-6A as collector and sodium carbonate and sodium silicate as regulators, a phosphate concentrate with P_2O_5 grade of 34.04%and recovery of 57.46% was obtained from the open-circuit test, while a phosphate concentrate with P_2O_5 grade of 34.05%and recovery of 93.66%, was obtained from the closed-circuit test. Then after regrinding process of the phosphate tailings, with the intensity of magnetic separation of 1.2 T, an iron concentrate with TFe grade of 65.59% and recovery of 43.33% was obtained from the open-circuit test.

Keywords: Apatite; Phosphate ore; Flotation; Magnetic separation

万方数据